

المحاضرة 11

الفصل العاشر

معالجة الغازات الطبيعية

تحتوي الغازات الطبيعية المنتجة من آبار الغاز والمتكثفات الغازية على شوائب صلبة (حبيبات صخرية) وسائلئة (ماء + كوندسات) وبخار الماء والغازات الحامضية (H_2S , CO_2) فيما إذا كان الغاز من النوع الحامضي.

من المعروف أن نقاط استهلاك الغاز الطبيعي تتطلب أن يكون الغاز بمواصفات محددة، لذلك يجب أن يخضع الغاز بعد خروجه من فوهة البئر إلى مجموعة من عمليات المعالجة بهدف تخليصه من الشوائب الصلبة والوسائلئة والغازات الحامضية وبخار الماء، بحيث تكون نقطة الندى ملائمة للظروف التي سينقل فيها الغاز بعد انتهاء المعالجة دون صعوباتٍ من جهة وتلبي متطلبات المستهلك من جهة أخرى.

تقسم عمليات المعالجة إلى قسمين:

- عمليات فصل أولي وتتم في موقع الآبار.
- معالجة في المحطات (Plants)، حيث تتضمن عمليات فصل إذا لم يكن الفصل الأولي كافياً وعمليات تحلية للغازات إذا كانت من النوع الحامضي إضافة إلى تخليصها من بخار الماء.

10-1- عمليات الفصل عند فوهة البئر:

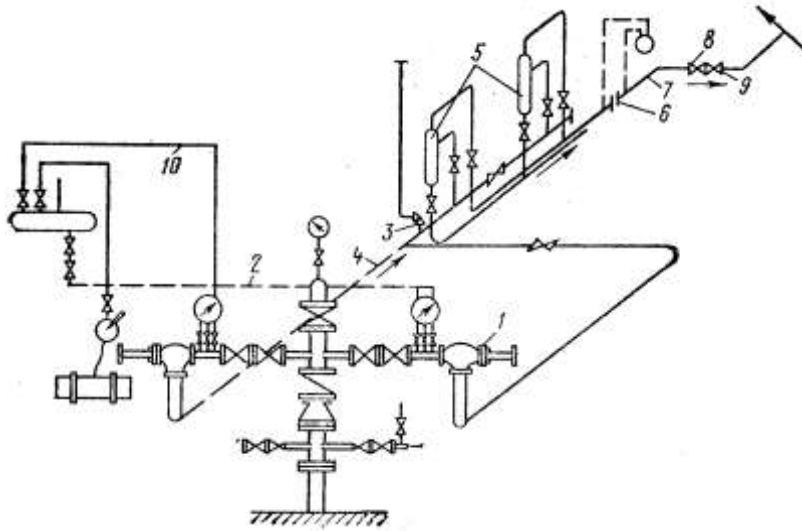
تتم عمليات فصل الغازات في موقع الآبار من خلال مجموعة من الأجهزة التكنولوجية التي يجب أن تؤمن ما يلي:

- إمكانية إغلاق وفتح البئر الغازية.
- فصل الشوائب عن الغاز (الماء والشوائب الصلبة).
- تغيير التصريف اليومي، بحيث يتناسب مع خطة الاستثمار ويضمن عدم جرف الرمال والأجزاء الصلبة من الطبقة إلى قاع البئر.
- تسخين الغاز حين اللزوم.
- قياس كمية الغاز المنتج.
- تعديل ضغوط الغاز.

لهذا فإن التجهيزات التكنولوجية تتألف من: صمامات - فواصل - فالات (سطحية أو جوفية) - مسخنات - أجهزة قياس كمية الإنتاج... إلخ. ويتم اختيار عناصر التجهيزات التكنولوجية لكل بئر على حدى وذلك حسب عناصر الإنتاج (الحرارة والضغط - معدل الإنتاج - نسبة المياه - الهيدروكربونات السائلة - الضغط في مواسير التجميع ومحطة المعالجة - البعد بين الآبار... إلخ).

يوضح الشكل (11-1) مخطط للأجهزة التكنولوجية المربوطة مع رأس البئر الغازي ذو الضغط العالي وتتألف: 1- فالة. 2- أنبوبة حقن المواد الكيميائية (Inhibitors). 3- صمام أمان . 4- أنبوب جريان الغاز من شجرة الميلاد للفواصل . 5- فاصل. 6- جهاز قياس كمية الإنتاج. 7- خط التصريف. 8- صمام عدم رجوع. 9- خط التصريف إلى المحطة.

يلاحظ من الشكل وجود فاصلين فعندما يتم وصلهما على التسلسل، فإن الجزيئات الثقيلة (ماء، رمال) تفصل في الفاصل الأول أما فصل الكوندسات فيتم في الفاصل الثاني أما في حال وصلهما على التوازي فإن سرعة تيار الغاز تصبح أقل مما يساعد في الفصل الجانبي



الشكل (10-1) الأجهزة التكنولوجية السطحية لبئر غازي ذو ضغط عالي

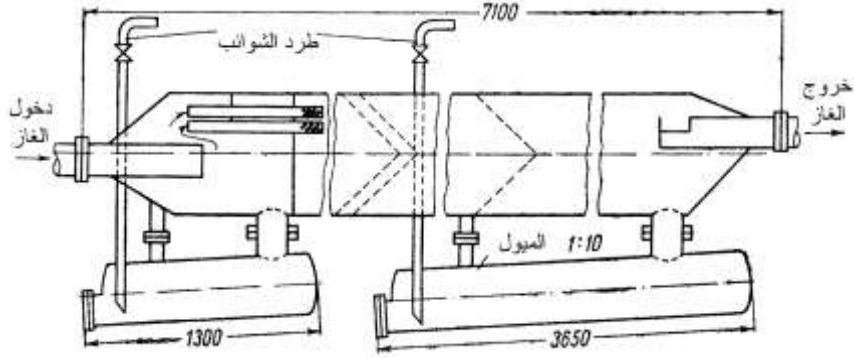
في الآبار الغازية ذات الضغط المنخفض فيتم تركيب فاصل واحد و بقية التجهيزات مشابهة تقريباً. يتم في هذه التجهيزات فصل الشوائب الصلبة والماء حيث يتم تصريفها إلى الجورة (حفرة البئر) أما الكوندسات المفصول فإما أن يتجمع في خزان أو يتم إدخاله بألية معينة إلى خط الغاز المؤدي إلى محطة المعالجة.

يعتبر الهدف الأساسي من عمليات الفصل في موقع البئر هو تخليص الغاز من الشوائب الصلبة (رمال + بلورات ملحية) والماء الحر وذلك بهدف تحاشي المشاكل التي يمكن أن تسببها، حيث أنها قد تؤدي إلى تضيق مقطع الجريان في مواسير التجميع وأحياناً الإغلاق الكامل إضافة إلى تأثيرها التآكلي على المعدات المعدنية التي سيجري فيها الغاز.

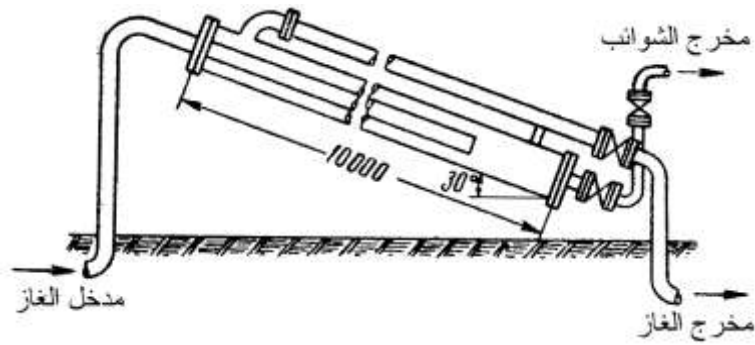
10-1-1- فواصل الغاز الطبيعي:

يعتمد عمل فواصل الغاز الطبيعي على بعض الظواهر الفيزيائية التي تساهم في عملية فصل الشوائب الصلبة والسائلة عن الغاز، ومن هذه الظواهر: تخفيض سرعة جريان تيار الغاز، اصطدام

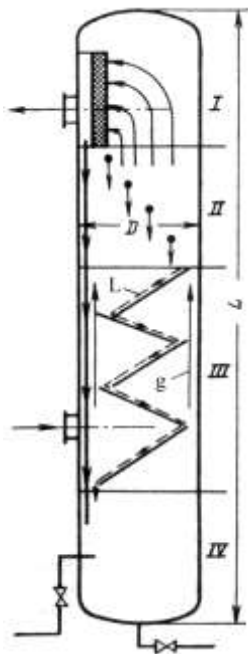
تيار الغاز بحاجز، جريان الغاز ضمن مرشحات تصفية، القوة النابذة . انطلاقاً من طبيعة التأثير الفيزيائي، يمكن أن نميز فواصل جاذبية وفواصل طاردة مركزية. تستخدم في الصناعة الغازية الفواصل الجاذبية بأشكالها المختلفة الأفقية والمائلة والعمودية الأشكال (10-2) , (10-3) , (10-4).



الشكل (10-2) فاصل غاز جاذبي أفقي



الشكل (10-3) فاصل جاذبي مائل

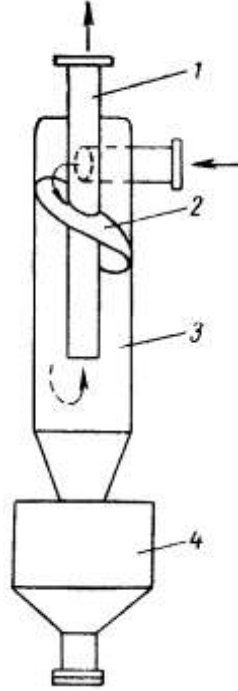


الشكل (10-4) فاصل جاذبي عمودي

I - قسم اصطياذ القطرات. II - قسم الفصل الجاذبي
III - قسم الترسيب. IV - قسم السائل

يدخل الغاز إلى هذه الفواصل بشكل جانبي عبر أنبوب مصمم بحيث يغير تيار الغاز مساره من الأعلى إلى الأسفل ومن ثم خلال صعوده ضمن الفاصل ليمر عبر فلاتر خاصة تساهم في عملية الفصل.

يوضح الشكل (10-5) شكل تخطيطي لفواصل غاز طارد مركزي أو ما يسمى في بعض المراجع بالفواصل الحلقي.



- 1- أنبوب دخول الغاز.
- 2- سيكلون حلزوني.
- 3- حجرة.
- 4- خزان الشوائب

الشكل (10-5) فاصل غاز حلقي (سيكلوني)

من أجل تحسين عملية الفصل، يمكن استخدام الفصل ثنائي المراحل (استخدام فاصلين)، حيث يتم وصلهما مع بعضهما البعض على التسلسل أو على التوازي. ففي حالة الوصل التسلسلي، فإن حبيبات الصخر وقطرات السائل الكبيرة والثقيلة (الماء) تفصل في الفاصل الأول أما الكوندسات فتفصل في الفاصل الثاني. أما في حالة وصل الفواصل على التفرع فإن سرعة تيار الغاز سوف تنخفض مما يساعد على الفصل الجاذبي. تختلف الفواصل عن بعضها البعض بضغط التشغيل وبالاستطاعة.

يمكن استخلاص جزء كبير من بخار الماء الموجود في الغاز، وذلك عن طريق الفصل بدرجات حرارة منخفضة وضغوط عالية، حيث يكون موقع الفاصل قبل الفالة بموجب هذه التكنولوجيا.

إن وضع الفاصل قبل الفالة، يتطلب اختياره بأحجام ليست كبيرة وبسماكة جدار كبيرة وتكون رطوبة الغاز الخارج منه قليلة مقارنة مع مكانه بعد الفالة لئلا يلاحظ عملياً أن السرعة اللبيرة لتيار الغاز عبر الفالة تؤدي إلى تدرير قطرات السائل مما يجعل فصلها صعباً

يتم تصريف الماء والرمال المتجمعة في أسفل الفاصل من خلال صمامات تحكم تعمل على مبدأ مستوى السائل. إن جميع صمامات التحكم الموجودة ضمن مجموعة الأجهزة التكنولوجية على رأس

البئر، تكون مربوطة مع لوحة تحكم، وبذلك يمكن الاستغناء عن تواجد العنصر البشري لمراقبة عملها بشكل دائم.

10-1-2- حساب استطاعة الفاصل الغازي قدرته الإنتاجية:

يقوم الحساب الهيدروليكي للفاصل على تحديد قدرته الإنتاجية أو على اختيار قطر الفاصل المناسب بالعلاقة مع كمية تصريف الغاز. لكي يتم فصل الأجزاء الصلبة والسائلة (V) عن الغاز، يجب أن تكون سرعة سقوطها (V_0) أكبر سرعة صعود تيار الغاز في الفاصل ومن أجل الحساب يمكن اعتماد $V = 0.8 V_0$.

يمكن حساب استطاعة الفاصل العمودي ذو القطر المعين وذلك من أجل شروط تشغيل معينة (P, T) بالعلاقة التالية:

$$G_g = 86400 \cdot S \cdot v_g \cdot \frac{PT_0}{P_0 \cdot T \cdot z} \quad (10-1)$$

أو:

$$G_g = 67858 \cdot D^2 \cdot v_g \cdot \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T \cdot z} \quad (10-2)$$

حيث أن:

G_g - إنتاجية الفاصل من الغاز M^3/day .

T_0, P_0 - الشروط النظامية من الضغط (Pa) ودرجة الحرارة (K).

D - قطر الفاصل M .

v_g - السرعة اللازمة لتيار الغاز في الفاصل M/S .

يمكن تحديد قيمة السرعة v_g بالعلاقة التجريبية التالية:

$$v_g = A_1 \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_g}{\rho_g}} \quad (10-3)$$

حيث أن:

ρ_L - كثافة السائل المفصول.

A_1 - قيمة ثابتة تتعلق بالتركيب الداخلي للفاصل . فمثلاً عندما يزود قسم لاقط القطرات بشبك فإن

$$A = 0.107$$

أما بالنسبة للفواصل الأفقية الجاذبية فيتم تحديد استطاعتها باستخدام العلاقة

(10-2) بعد إدخال القيمة n التي تمثل النسبة بين طول الفاصل وقطره أي $n = \frac{L}{D}$ وبذلك يمكن أن

نكتب:

$$G_g = 67858 \cdot n \cdot v_g \cdot \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T \cdot z} \quad (10-4)$$

10-2- إزالة الغازات الحامضية:

تسمى عملية إزالة الغازات الحامضية (CO_2 , H_2S) من الغاز الطبيعي بعملية التحلية، وتعتبر هذه العملية في غاية من الأهمية في الصناعة الغازية للأسباب التالية:

- 1 - الحصول على درجة عالية من الأمان عند تشغيل واستثمار وحدات الغاز الطبيعي
- 2 - تلافي مشاكل التآكل.
- 3 - الحصول على منتجات سائلة وغازية بالمواصفات التجارية المطلوبة.
- 4 - لمنع تلوث الوسائط الكيميائية المستخدمة في عمليات المعالجة اللاحقة.

في الوقت الحالي تستخدم في عملية تحلية الغاز الطبيعي العديد من المواد التي تقوم بامتصاص الغازات الحامضية، حيث تعد محاليل الأمينات المائية من أكثر الطرق انتشاراً والجدول رقم (10-1) يبين بعض مواصفات المركبات الأمينية:

جدول رقم (10-1) يبين بعض مواصفات المركبات الأمينية

المؤشر	أحادي إيتانول أمين (MEA) ($HOC_2H_4NH_2$)	ثنائي إيتانول أمين (DEA) ($(HOC_2H_4)_2NH$)	ثلاثي إيتانول أمين (TEA) ($(HOC_2H_4)_3N$)
الكثافة kg/M^3	1018	1101	1120
الكتلة المولية	61.06	105.1	149.15
الضغط البخاري Pa, ($38C^0$)	200	0.7	0.7
الانحلالية في الماء %	100	100	100
الانحلالية في المواد الهيدروكربونية %	0	0	0

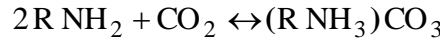
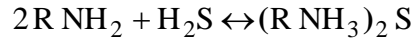
تقوم المحاليل الأمينية بامتصاص الغازات الحامضية من الغاز الطبيعي بدرجة الحرارة $20-40C$ ويعاد تنشيط المحاليل المشبعة بهذه الغازات بالتسخين لدرجة الحرارة $(105-130)C$.

يمثل أحادي ميثانول أمين بقدرته العالية على انتزاع الغازات الحامضية، بحيث يمكن أن يصل تركيز غاز H_2S في الغاز المعالج إلى أقل من ($6mgr$ في المتر المكعب). يمكن أن تصل كمية الغازات

الحامضية الممتصة من قبل واحد مول من الـ (MEA) إلى (0.3-0.35) مول، وذلك عند استخدام محلول أميني بتركيز (10-20%).

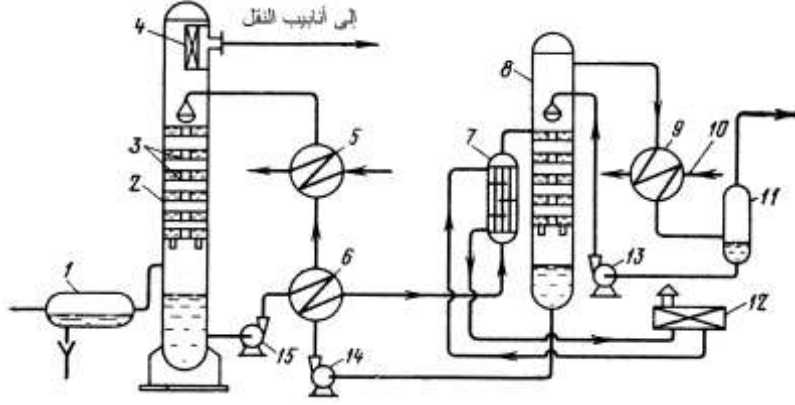
يتميز الـ (MEA) بضغط بخاري عالي مقارنة مع بقية الأمينات كما هو واضح من الجدول (10-1) وهذا يؤدي إلى فقدان كميات منه في أثناء عمليات التنشيط . كما أن الـ (MEA) قابلاً لتشكيل الرغوة عند تماسه مع المكثفات الهيدروكربونية ولذلك يجب تخليص الغاز بشكل تام تقريباً من القطرات التي يحملها قبل دخوله برج الامتصاص . لذلك يدخل الغاز الحامضي المُنتج من الآبار إلى الفاصل 1. الشكل

(10-6) وذلك بهدف تخليصه من المكثفات الغازية وما تبقى من شوائب (صلبة ومياه) بعد عملية الفصل الأولية عند رأس البئر، وبعد ذلك يتجه الغاز إلى القسم السفلي من برج الامتصاص (برج التلامس) 2 ليجري باتجاه الأعلى من خلال الصواني 3 الموجودة في البرج بشكل يعاكس جريان المحلول الأميني المنشط والبارد والذي يُضخ إلى أعلى البرج بواسطة المضخة 13. عندئذ يحصل التلامس بين الغاز والمحلول الأميني المستخدم داخل البرج حيث تتفاعل مكونات الغاز الحامضي مع الوسيط مشكلة أملاح كما في المعادلات التالية:



يمر الغاز بعد تخلصه من H_2S و CO_2 من خلال شبك (صائد قطرات) 4 في أعلى برج الامتصاص ومن ثم يتجه إلى وحدة التجفيف لتخليصه من بخار الماء.

يغادر المحلول الأميني المشبع بالغازات الحامضية برج الامتصاص من جزئه السفلي ليجري عبر المبادل الحراري 6 لتسخينه بشكل أولي عن طريق تبادل الحرارة مع المحلول الأميني المنشط والساخن الآتي من برج التنشيط (الاسترجاع) 10. يتجه المحلول الأميني بعد المبادل 6 إلى جه 4 من تسخين 7 حيث ترتفع درجة حرارته إلى حوالي $125C^{\circ}$ ومن ثم يتدفق إلى أعلى برج الاسترجاع ليجري نحو الأسفل على الصواني وهنا حيث يسود الضغط الجوي، يحصل تحرر الغازات H_2S و CO_2 الناتجة عن تحلل المحلول الأميني الساخن والمشبع بها. تغادر الغازات المنفصلة بما تحمله من أبخرة الوسيط الأميني برج الاسترجاع إلى جهاز التكثيف 9. تتكثف أبخرة الوسيط الأميني وتتابع طريقها إلى الفاصل 11 حيث تتجمع في أسفله وتعاد بواسطة المضخة 13 إلى أعلى برج الاسترجاع وبذلك تقلل ضياعات الوسيط بالبخر حتى الحد الأدنى، أما الغازات المنفصلة (CO_2 و H_2S) فتتجه من أعلى الفاصل إلى وحدة الحصول على الكبريت الحر أو إلى خط الشعلة.



الشكل (10-6) المخطط التكنولوجي لعملية إزالة CO_2 و H_2S

من الغازات الطبيعية باستخدام محاليل الأمينات

- 1- فاصل. 2- برج امتصاص. 3- صواني. 4- لاقط قطرات. 5, 9- مبرد.
- 6- مبادل حراري. 7- جهاز تسخين. 8- برج استرجاع. 10- خط الماء البارد.
- 11- فاصل. 12- مرجل. 13, 14- مضخات الوسيط الأميني. 15- مضخة.

10-3- تجفيف الغازات الطبيعية:

تهدف عمليات تجفيف الغازات الطبيعية إلى إزالة بخار الماء منها وذلك لمنع تشكل المياه الحرة لتلافي تشكل الهيدرات في خطوط النقل وتحقيق المواصفات المطلوبة للغاز إضافة إلى تلافي حصول عمليات التآكل. وتستخدم في الصناعة الغازية مجموعة من التقنيات في عمليات التجفيف، وفيما يلي سوف نستعرض بعضها.

10-3-1- تجفيف الغاز الطبيعي وفصل المتكثفات بتأثير انفلات الغاز:

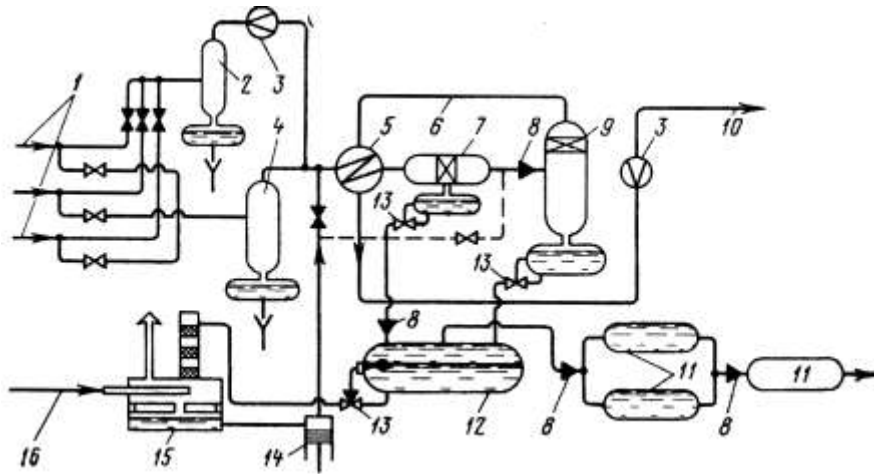
تتميز بعض المكامن الغازية وخصوصاً في المراحل الأولى للاستثمار بضغط طبقي عالي جداً حيث تصل قيمته أحياناً إلى 60MPa. لذلك فكر الباحثون بالاستفادة من التغيرات التي تحصل في النظام الغازي نتيجة ظاهرة الانفلات (مفعول جول وتومسن) بهدف فصل المتكثفات وإزالة بخار الماء من الغازات الطبيعية، وسميت هذه التكنولوجيا بالفصل عند درجات حرارة منخفضة.

من المعروف أن تخفيض ضغط الغاز بمقدار 0.1MPa سيؤدي بشكل عام إلى انخفاض درجة حرارته بحوالي 0.3°C (معامل جول وتومسن). فمثلاً عند انخفاض ضغط الغاز بحدود 10MPa وذلك من خلال مروره من خلال اختناق معين فإن درجة حرارته سوف تنخفض بمقدار 30°C وبالتالي سيرافق ذلك انفصال كميات معتبرة من الماء والمتكثفات الهيدروكربونية السائلة.

يوضح الشكل (10-7) المخطط التكنولوجي لعملية الفصل عند درجات حرارة منخفضة، حيث يدخل الغاز ذو الضغط العالي عبر الخطوط 1 إلى فاصل القياس 2 أو إلى فاصل المرحلة الأولى 4 لفصل الماء المتكثف في الطريق، ومن ثم يتابع الغاز جريانه إلى المبادل الحراري 5، حيث تنخفض

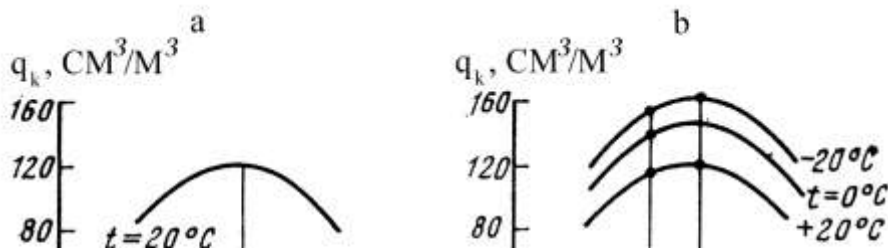
درجة حرارته بشكل أولي نتيجة تبادله الحرارة مع الغاز البارد الآتي من فاصل الحرارة المنخفضة 9 ضمن أنابيب معزولة 6 يدخل الغاز الذي تبرّد بشكل أولي ومازال يحتفظ بضغط عالي إلى الفاصل 7، وهنا يحدث انفصال للمتكثفات الغازية ويتم تصريفها إلى خزان فصل السوائل عن بعضها البعض 12، أما الغاز فيتابع طريقه عبر الفالة 8، حيث ينخفض ضغطه إلى ضغط التكثف الأعظمي وهذا يؤدي إلى انخفاض درجة حرارته مما يؤدي إلى انفص ال ما تبقى من الماء والسوائل الهيدروكربونية في الفاصل 9 (الفاصل ذو درجة الحرارة المنخفضة) وبذلك يصبح الغاز جافاً وينطلق إلى أنبوب النقل 10.

من أجل تلافي تشكل الهيدرات الغازية في المبادل الحراري 5، فإنه يتم حقن مانع ت شكل الهيدرات (ثنائي إيثيلين الغليكول) بواسطة المضخة 14. يرافق الغليكول الغاز للفاصل 7 ومن ثم للفاصل 9، حيث يتم في هذا الأخير انفصال الغليكول مع المركبات الهيدروكربونية ليجمع في الخزان 12 وهنا تفصل السوائل عن بعضها بتأثير الكثافة . يؤخذ محلول الغليكول الغني ببخار الماء إلى جهاز النشيط 16. في جهاز النشيط يتم رفع درجة حرارة محلول الغل يكول حتى 165°C ، مما يؤدي إلى تبخر الماء وينتج غليكول بتركيز عالي % (95-98) ليعاد حقنه في تيار الغاز من جديد وبذلك يتم تحقيق دورة مغلقة للغليكول وبعدها من ضياعاته بحيث لا يتجاوز 18gr لكل 1000M^3 غاز .



الشكل (10-7) المخطط التكنولوجي للفصل بدرجة الحرارة المنخفضة

تسمى العلاقة بين كمية السوائل الهيدروكربونية المنفصلة عن الغاز والضغط ودرجة الحرارة في الفاصل ذو درجة الحرارة المنخفضة بمنحني التكثف عند درجة حرارة ثابتة . الشكل (10-8-a)، ويسمى الضغط المقابل لأكبر كمية منفصلة من السوائل الهيدروكربونية بضغط التكثف الأعظمي، وتحدد قيمته مخبرياً، وتتراوح قيمته (6-8)MPa بشكل عام.



الشكل (10-8) يوضح منحنى التكثف عند درجة حرارة ثابتة

بهدف الحصول على كمية أكبر من السوائل الهيدروكربونية عند استثمار مكامن المتكثفات الغازية، فإنه يتم تخفيض كبير لدرجة حرارة الفصل . الشكل (10-8-b) وذلك باستخدام تقنيات خاصة للتبريد يعتمد على مبدأ انفلات الغاز .

يتضح تماماً من الشكل (10-8) أن قيمة الضغط في أثناء تطبيق تقنية الفصل بدرجة حرارة منخفضة على غاية من الأهمية . فإذا تم الفصل عند ضغط p_1 بحيث أن $P_1 < p_{max}$ فإنه هناك احتمال كبير لحصول تجمع المواد الهيدروكربونية السائلة في المناطق المنخفضة من أنابيب النقل مما يقلل من مقطع الجريان وخصوصاً عندما تتخفض درجة حرارة الغاز في أنابيب النقل إلى أقل من درجة حرارة الغاز في الفاصل . لذلك يجب تحقيق الفصل عند شروط الضغط الأعظمي للتكثف وبدرجة حرارة أقل من أدنى درجة حرارة محتملة للغاز في خطوط النقل، وإذا لم تتوفر الإمكانيات الفنية لتأمين مثل هذه الشروط فإنه ينصح بتركيب مصائد للسوائل في الأجزاء المنخفضة على مسار خط النقل .